# Toonregelingen

**Met een toonregeling kunt u de frequentieweergave van een analoge audioversterker aan uw eigen wensen aanpassen. De toegepaste schakelingen, baxandall, presence en loudness, zijn eenvoudig en probleemloos na te bouwen, dus zeer geschikt voor het experimenteren.**

**Auteur:** Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
**Email:** josverstraten@live.nl
**Publicatiedatum:** 05-03-2019

## Toonregelingen

**Wat zijn het?**
Toonregelingen zijn in wezen niets meer dan frequentie-afhankelijke versterkers, waarvan u de frequentiekarakteristiek door middel van een of meerdere potentiometers of schakelaars kunt instellen. Op deze manier kunt u de frequentieweergave van een audiosysteem aan uw specifieke verlangens aanpassen.

**Drie soorten**
In grote lijnen kunt u alle schakelingen indelen in drie groepen:

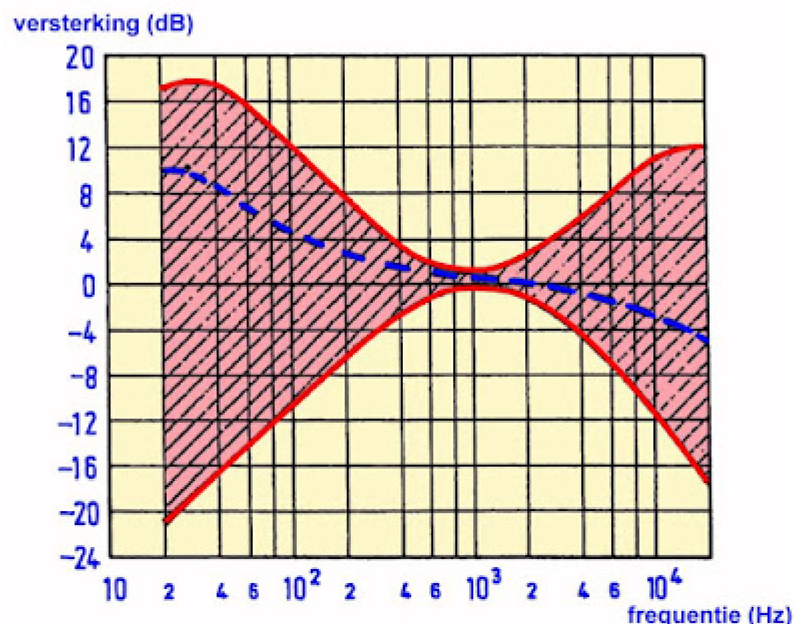
- **Hoge en lage tonen regelingen.**
  Hoewel er in de loop der tijden heel wat van dergelijke schakelingen zijn ontworpen, heeft (voor normaal gebruik) er in feite maar één overleefd: de baxandall-schakeling. In dit artikel zal dan ook uitsluitend deze schakeling worden besproken. Allerlei exotische toonregelingen, zoals (al dan niet parametrisch werkende) equalizers, blijven buiten beschouwing.
- **Presence-regelingen.**
  Met een dergelijke schakeling kunt u een bepaald frequentiegebied extra versterken. In de meeste gevallen wordt een dergelijke regeling gebruikt voor het verstaanbaarder maken van de menselijke stem.
- **Loudness-regelingen.**
  Deze regelingen compenseren de niet-lineaire karakteristieken van het menselijk gehoor, zodat de weergave van de lage en de hoge tonen onafhankelijk wordt van het ingestelde volume.

## De baxandall-schakeling

**De filosofie van Baxandall**
Peter J. Baxandall (1921 - 1995) was een Engelse audio- en elektronica-ingenieur en een pionier in het gebruik van analoge elektronica in audio. Hij werd wereldberoemd met zijn *'baxandall-schakeling'*, een eenvoudige regeling waarmee u met twee potentiometers de lage en de hoge tonen van een audioversterker symmetrisch kunt regelen. Deze schakeling werd voor het eerst beschreven in Wireless World in 1952.
Baxandall ging er van uit dat de gemiddelde luisteraar alleen in staat is te horen of er te veel of te weinig lage tonen en/of hoge tonen in een geluidsbeeld aanwezig zijn. Met lage tonen

wordt alles bedoeld onder 1 kHz, met hoge tonen alles daarboven. Deze zogenoemde *'bass/treble-regeling'* kan dus volstaan met twee knopjes. Een knopje moet alles versterken of verzwakken onder 1 kHz, het tweede knopje alles boven 1 kHz. Om de regeling natuurlijk te laten klinken moet de frequentiekarakteristiek, in welke stand u de knopjes ook zet, een vloeiend verloop hebben.

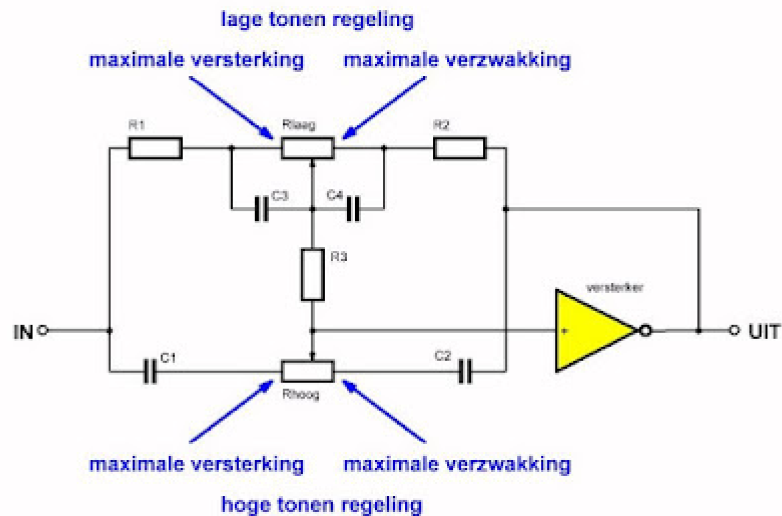
**De baxandall-karakteristiek**
Aan de hand van deze uitgangspunten werd de beroemde baxandall-karakteristiek van de onderstaande figuur samengesteld. Het gearceerde rose deel geeft het gebied weer, waarin u de frequentiekarakteristiek kunt instellen. De twee volle rode lijnen geven de maxima en minima weer, respectievelijk met volledig open gedraaide en volledig dicht gedraaide potentiometers. De gestippeld getekend blauwe lijn geeft één bepaalde karakteristiek weer, die overeen komt met één welbepaalde instelling van beide potentiometers.
Noteer dat de horizontale frequentie-as een logaritmische indeling heeft. Het gebied van 10 Hz tot 100 Hz is even breed als dat van 100 Hz tot 1 kHz, etc. Noteer verder dat de verticale versterking-as een indeling in dB heeft. Noteer bovendien dat er allerlei variaties op deze karakteristiek bestaan. Zo regelt deze karakteristiek het hoog tot +12 dB en het laag tot +17 dB. Er zijn schakelingen ontwikkeld, waar die twee waarden aan elkaar gelijk zijn. Een kwestie van aan een paar componenten een andere waarde toe te kennen, dus een ideaal terrein om mee te experimenteren!




*De kenmerkende vorm van de frequentiekarakteristiek van de baxandall-regeling.*
*(© 2019 Jos Verstraten)*

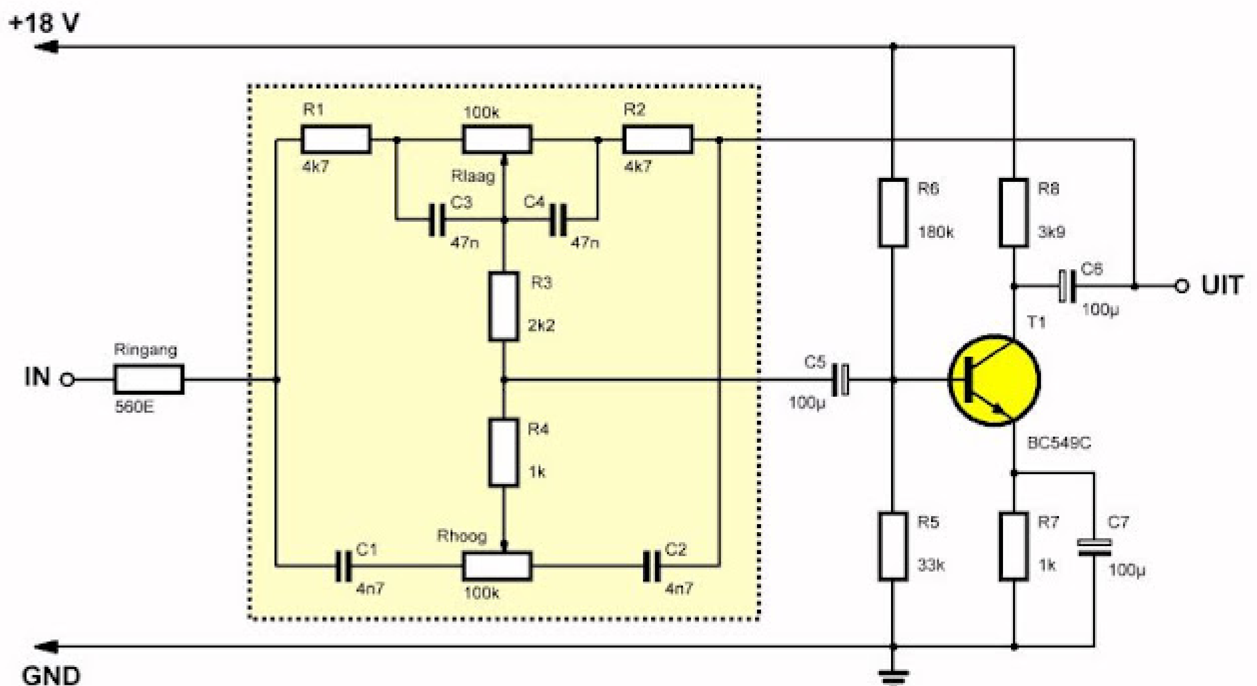
**De principe-schakeling**
Schakeltechnisch bekeken kost het niet eens veel elektronica om een schakeling te realiseren die aan de eisen voldoet. Het principe-schema van de baxandall-regeling is getekend in de onderstaande figuur.
Uiteraard wordt er een frequentie-afhankelijke terugkoppeling ingevoerd. Deze schakeling is opgenomen tussen de ingang van een inverterende versterker, de uitgang van de versterker en de signaalingang. Op deze manier kunt u deze terugkoppeling instellen als meekoppeling of als tegenkoppeling. De mate van mee- of tegenkoppeling wordt bepaald door de instelling van de potentiometers. Is er sprake van meekoppeling, dan zullen de lage en/of hoge frequenties versterkt worden. Is er sprake van tegenkoppeling, dan zullen deze frequenties verzwakt worden. Als beide potentiometers in de middenstand staan is er even veel mee- als tegenkoppeling. Beide verschijnselen heffen elkaar op, met als gevolg dat de schakeling volledig lineair werkt. Alle frequenties worden dus even veel versterkt, de frequentiekarakteristiek is kaarsrecht.
De twee potentiometers moeten lineair werkende modellen zijn. U moet maatregelen treffen om te vermijden dat er gelijkstromen door deze onderdelen lopen. Deze veroorzaken immers

ruis! In het blauw is aangegeven in welke stand van de loper de lage en hoge tonen worden versterkt of verzwakt.




*De principiële schakeling van de baxandall-regeling. (© 2019 Jos Verstraten)*

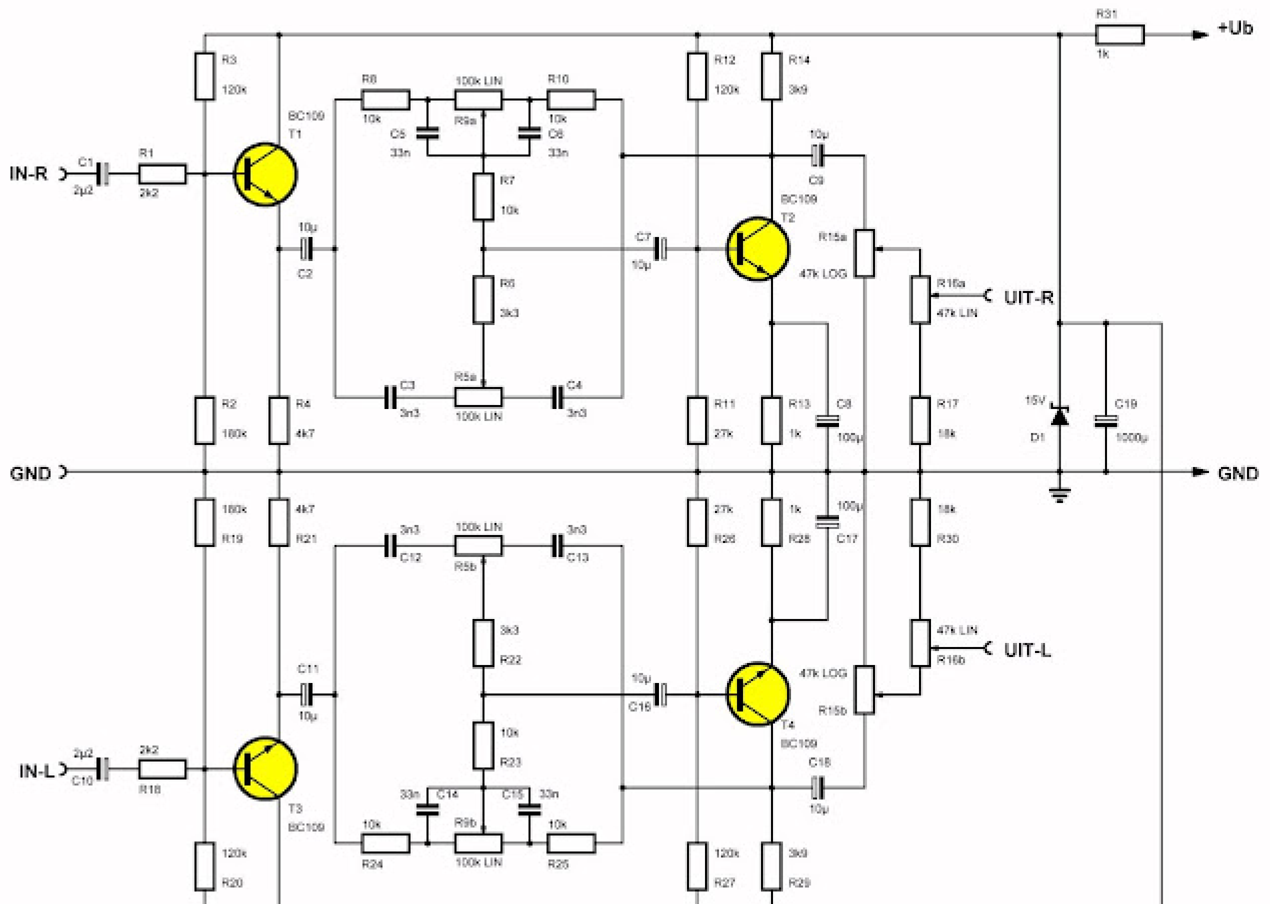
**Het allereenvoudigst schema**
In de onderstaande figuur is het meest eenvoudige praktisch schema van een baxandall-regeling getekend. De inverterende versterker bestaat uit een een-trap transistorversterker. Zoals bekend zijn de signalen op basis en collector in tegenfase, zodat aan de eis van inverterende werking wordt voldaan. U moet de signaalbron via een lage impedantie (maximaal 600 Ω) met de ingang van het baxandall-filter verbinden. Het netwerk is door middel van twee scheidingscondensatoren op gelijkspanningsgebied volledig gescheiden van de instelspanningen van de transistor.




*Een eenvoudig voorbeeld van een baxandall-schakeling. (© 2019 Jos Verstraten)*

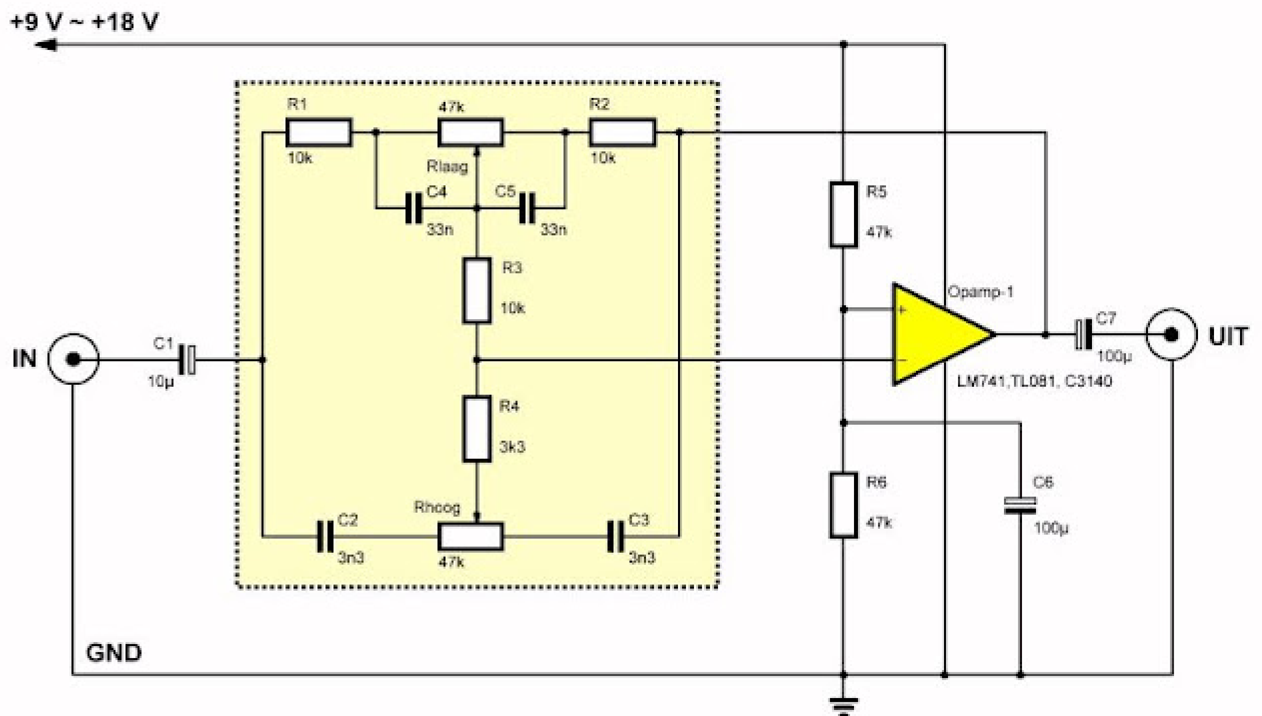
**Stereo toonregeling**
In de onderstaande figuur is een praktisch bruikbare baxandall-schakeling getekend met twee kanalen en met geïntegreerde volume- en balans-instelling. Ieder kanaal opent met een emittervolger, waarop de baxandall-regeling wordt aangesloten. Op deze manier kan de wisselende impedantie van de signaalbron geen invloed op de regeling uitoefenen. Nadien volgt weer een een-trap versterker rond T2 (T4). Het netwerk is rechtstreeks verbonden met de collector, hetgeen tot gevolg heeft dat de potentiometers op de instelspanning van de collector staan. Dit is geen bezwaar, want dank zij de scheidingscondensatoren C2 (C11) en

C7 (C16) kan deze gelijkspanning toch geen gelijkstroom door de potentiometers veroorzaken. Potentiometers die doorlopen worden door een gelijkstroom veroorzaken ruis! Het signaal wordt afgenomen van de collector van T2 (T4) en via een scheidingscondensator naar de volume- en balans-potentiometers R15 en R16 doorgekoppeld. De twee helften van de balanspotentiometer worden kruiselings gekoppeld. De aansluiting die bij de ene helft naar de collector gaat, gaat bij de andere helft naar de massa.



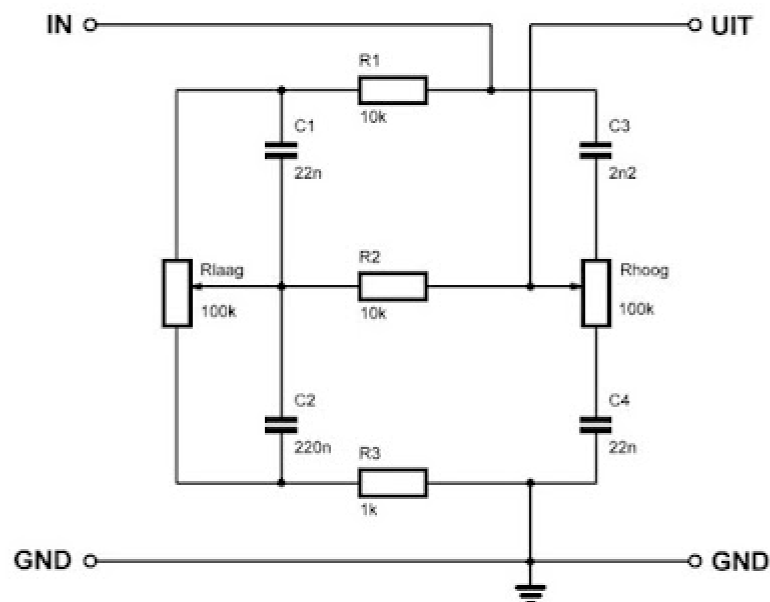
*Een stereo toonregeling met bass-, treble-, volume- en balans-potentiometers.*
*(© 2019 Jos Verstraten)*

**Een baxandall-schakeling met een op-amp**
Uiteraard is de baxandall-schakeling ook geschikt voor aansluiting op een operationele versterker. In het onderstaand schema is hiervan een voorbeeld gegeven. De positieve ingang van de op-amp wordt door middel van de spanningsdeler R5/R6 ingesteld op de helft van de voedingsspanning. Dit punt wordt ontkoppeld door de grote elco C6. Dit punt wordt de referentie voor alle signaalspanningen in de schakeling.
U merkt dat de twee potentiometers in de baxandall-schakeling andere waarden hebben dan in de vorige schema's. Dat heeft niets te maken met het vervangen van een transistor door een op-amp. De ontwerper van deze schakeling heeft gekozen voor een milder regelbereik en heeft daarom de waarde van deze regelelementen verlaagd.



*Een toonregeling rond een op-amp. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Een passieve baxandall-schakeling**
Tot slot geven wij nog een voorbeeld van een passieve toonregeling volgens het baxandall-principe. 'Passief' wil zeggen dat er geen versterkend element aanwezig is. Het gevolg is wél dat de schakeling niet erg mooi regelt en dat er een grote signaalverzwakking optreedt tussen de in- en de uitgang. Noteer dat de weerstanden en condensatoren geen symmetrische waarden hebben in dit schema.

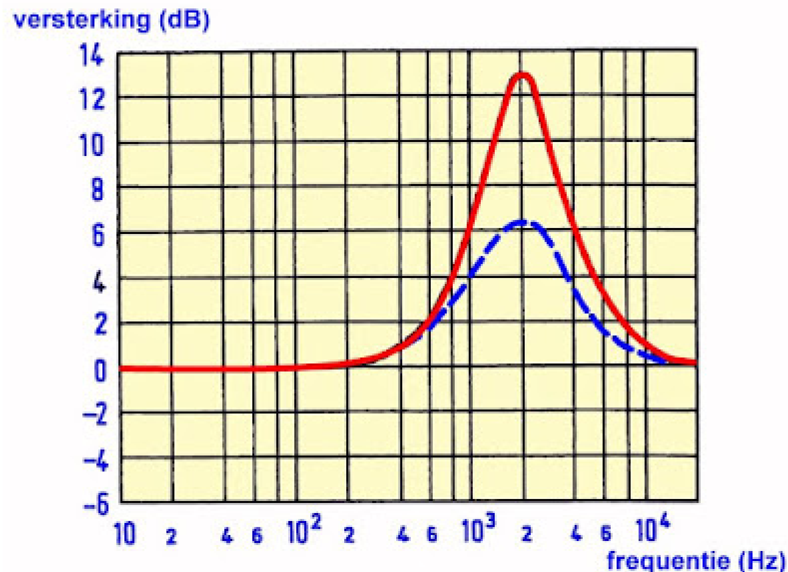


*Een passief baxandall-filter. (© 2019 Jos Verstraten)*

## Presence-regelingen

**Wat is het?**
Onder *'presence'* wordt de eigenschap verstaan dat bepaalde frequentiegebieden in een LF-signaal al dan niet aanwezig zijn. Nu is, zoals bekend, het frequentiegebied van de menselijke spraak geconcentreerd rond 2 kHz. Soms is het noodzakelijk dit spraakgebied extra te versterken. Dat is natuurlijk ook een vorm van toonregeling, waarbij u gebruik kunt

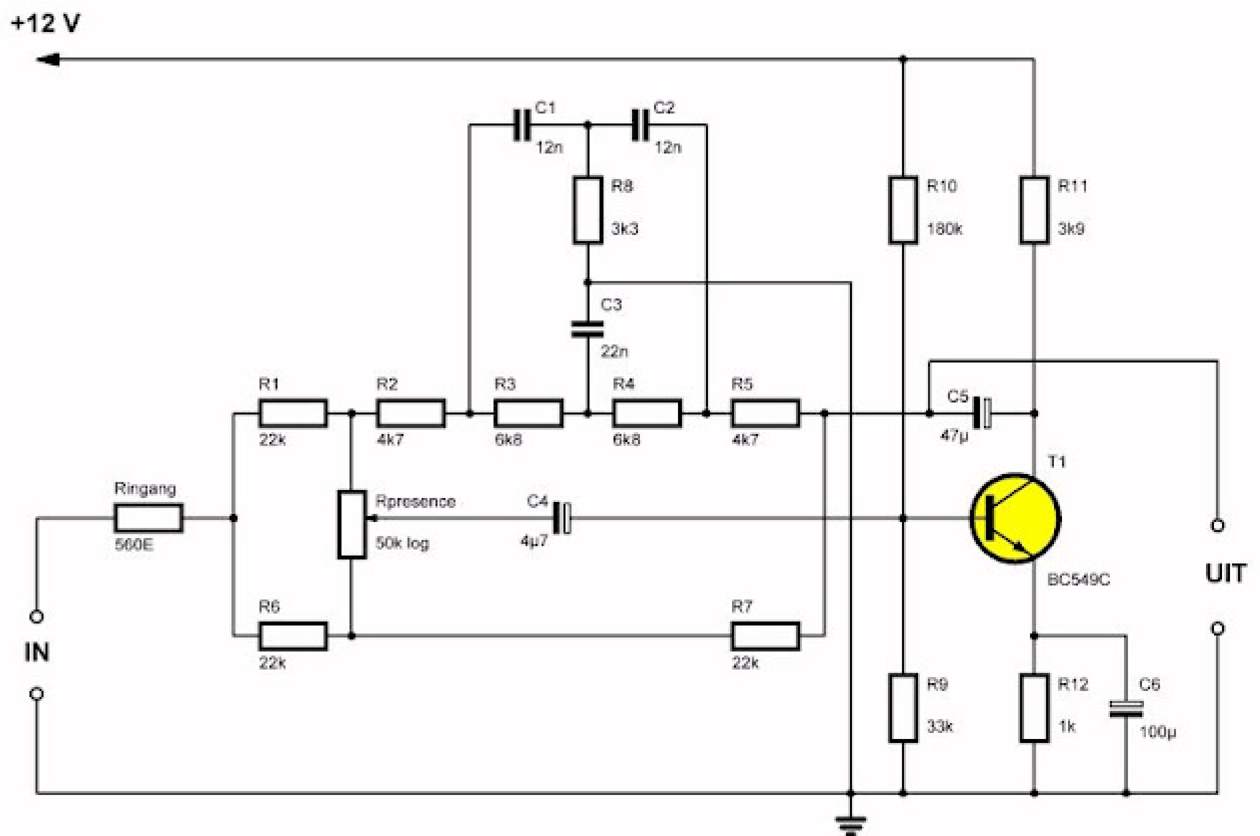
maken van een presence-filter. De typische regelkarakteristiek van een presence-filter is getekend in onderstaande figuur. De rode lijn geeft de maximale versterking van de spraakband weer, de blauwe lijn ontstaat als u de potentiometer van het presence-filter half opendraait.




*De regelkarakteristiek van een presence-filter. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Het schema van een presence-regeling**
Dergelijke schakelingen werken vrijwel identiek als de baxandall-regeling. Ook nu is er een RC-netwerk aanwezig tussen de signaalingang, de ingang van de versterkertrap en de uitgang van de versterker. Door middel van een potentiometer kunt u de terugkoppeling weer in min of meerdere mate als meekoppeling laten werken.
Het filter is een combinatie van een laagdoorlaat filter en een hoogdoorlaat filter, waarvan de afsnijfrequenties bij 1 kHz respectievelijk 4 kHz liggen. Beide filters zijn uitgevoerd als T-netwerk. Het hoogdoorlaat filter bestaat uit de onderdelen C1, C2 en R8. Het laagdoorlaat filter is samengesteld uit R3, R4 en C3. De potentiometer $R_{presence}$ schakelt de invloed van deze in de terugkoppeling van de versterker T1 liggende filters in min of meerdere mate in de signaalweg in. Let er op dat deze potentiometer een logaritmisch type moet zijn.
Tussen de onderdelen van de twee filters bestaan de volgende relaties:

R3 = R4
R8 = ½ ● R3 = ½ ● R4
C1 = C2
C3 = 2 ● C1 = 2 ● C2

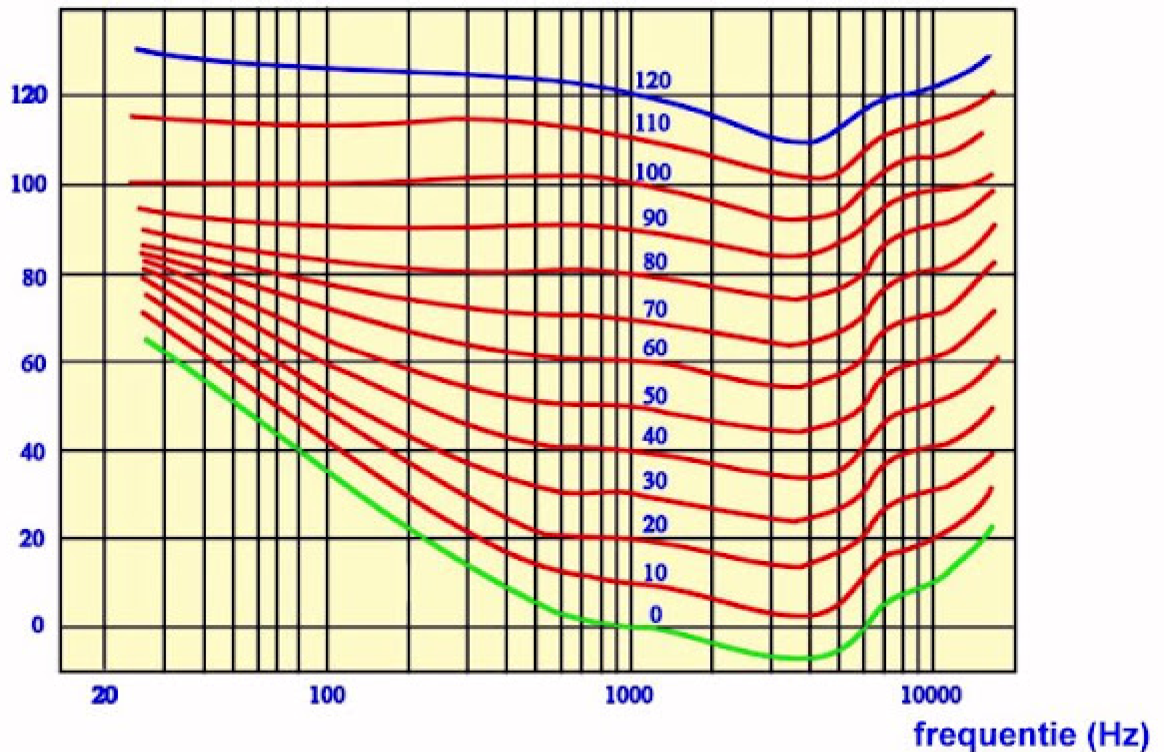



*De typische schakeling van een presence-filter. (© 2019 Jos Verstraten)*

## Loudness-regelingen

**Wat is het?**

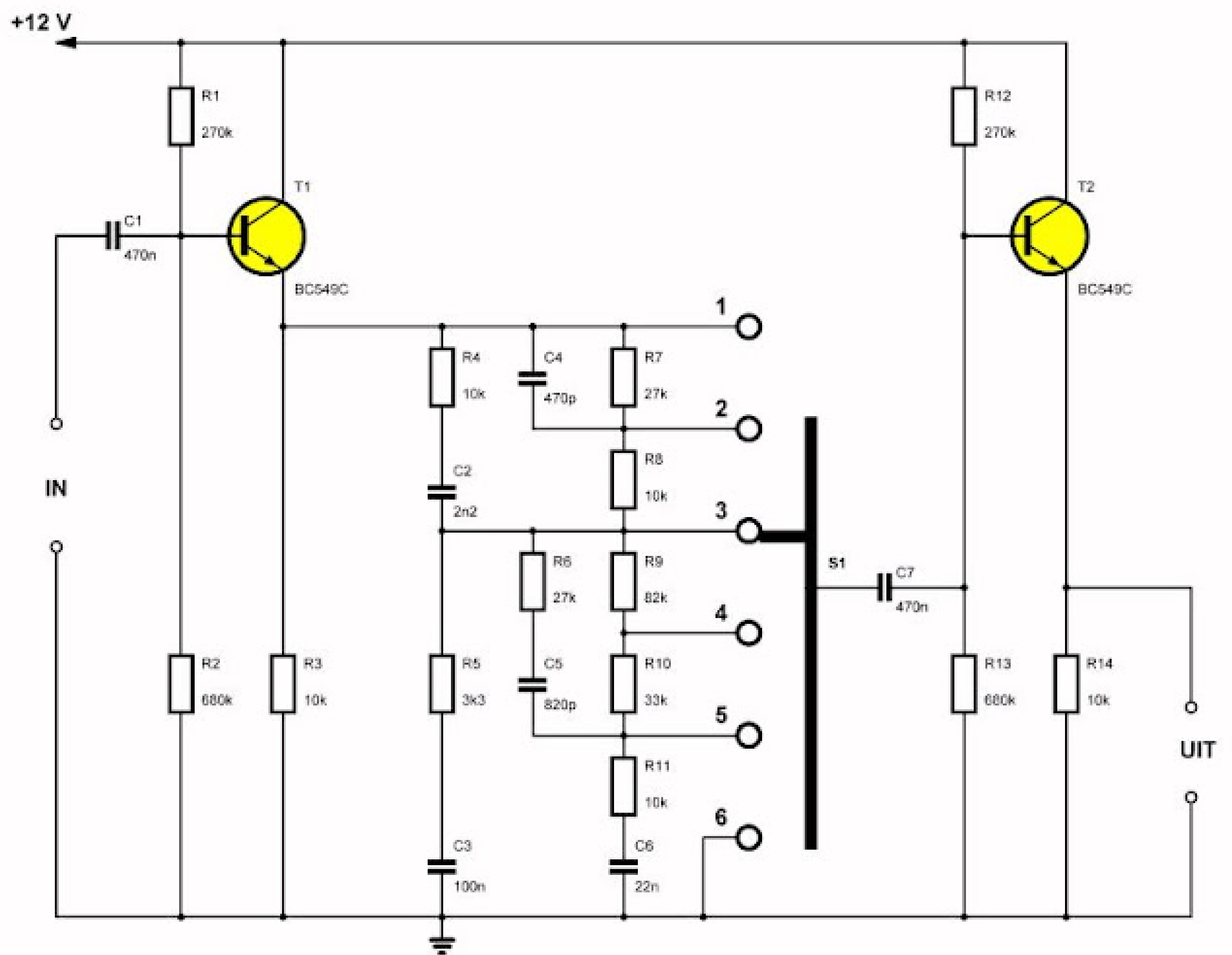
Een loudness-filter past de weergavekarakteristiek van een versterker aan de gevoeligheidscurve van het menselijk gehoor aan. Zoals uit de grafieken van onderstaande figuur blijkt, is deze gevoeligheid niet alleen afhankelijk van de frequentie, maar ook van de luidheid van het geluid. Bij een gemiddelde luidheid van 120 dB (de pijngrens, blauw) is het gehoor voor alle frequenties vrijwel even gevoelig. Neemt de luidheid af, dan stelt u vast dat het gehoor gevoeliger wordt voor signalen met frequenties tussen 500 Hz en 5 kHz. Bij 0 dB (de hoorgrens, groen) ziet u een zeer groot verschil in de gevoeligheid. Deze zogenoemde *'isofonen'* geven voor iedere frequentie de sterkte van het signaal in dB, dat door de waarnemer als even luid wordt ervaren als een referentiesignaal van 1 kHz. Het gevolg van deze typische gevoeligheid is dat bassen en hoge tonen minder 'echt' klinken als u de volumeknop van uw geluidsinstallatie bijna volledig dicht draait.
Nu kunt u dit effect wel wat compenseren met de toonregeling, maar ideaal is dat niet. Vandaar dat goede versterkers zijn voorzien van een loudness-knop, waarmee u de lage en hoge tonen extra kunt versterken als u met een laag volume luistert.




*De isofonenbundel, karakteristieken die de gevoeligheid van het menselijk gehoor uitdrukken in functie van de frequentie en de luidheid. (© 2019 Jos Verstraten)*

**Voorbeeld van een loudness-filter**

In onderstaande figuur staat een schema van een loudness-gecompenseerde volumeregeling, waarbij u de compensatie in vier stappen kunt instellen. Op deze manier kunt u de isofonen van de vorige figuur zo goed mogelijk nabootsen voor verschillende luidheidniveaus. Het filter is passief uitgevoerd, hetgeen betekent dat het niet is opgenomen in de tegenkoppeling van een versterker. Het filter wordt laagimpedant aangestuurd uit de emittervolger T1 en hoogimpedant afgesloten met de emittervolger T2. In stand 1 van de schakelaar is het filter uitgeschakeld, zodat het ingangssignaal onverzwakt op de uitgang verschijnt. In de standen 2 tot en met 5 wordt steeds een andere verzwakking met bijbehorende loudness-gecompenseerde frequentiekarakteristiek ingeschakeld. Het komt er op neer dat de lage en hoge tonen steeds meer worden versterkt als de schakelaar in een hogere stand wordt gezet. In stand 6 wordt de ingang van de emittervolger T2 kortgesloten naar de massa, zodat het geluid helemaal wordt uitgeschakeld.




*Een loudness-gecompenseerde volumeregeling met zes standen. (© 2019 Jos Verstraten)*